Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Olli Mattila

Opinnäytetyö

Pulttiliitoksen laskentalomake

Eurokoodi 5:n mukaan

Työn ohjaaja DI Raimo Koreasalo
Työn tilaaja KPM-Engineering Oy, valvojana rak.ins. Heikki Löytty
Tampere 05/2009

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakennustekniikka
Mattila, Olli
Pulttiliitoksen laskentalomake
31 sivua + 1 liitesivu
Toukokuu 2009
Työn ohjaaja DI Raimo Koreasalo
Työn tilaaja KPM-Engineering Oy, valvojana rak.ins. Heikki Löytty

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi pulttiliitoksien mitoitusohjelma, joka perustuu tunnettuun taulukkolaskentaohjelmaan. Ohjelma sisältää erilaisia liitostyyppejä puusauvojen ja liitoslevyjen välille. Laskentalomakkeen on tarkoitus palvella yritystä myös tulevaisuuden tarpeissa.

Raporttiosa käsittelee pulttiliitoksen mitoituksen vaiheet, niin kuin ne on käytetty laskentalomakkeessa, ja laskentalomakkeen teossa käsitellyt asiat. Lisäksi raportti käsittelee standardeja ja syitä miksi työ on tehty.

Yhtenä osana työtä oli myös kartoittaa laskentalomakkeen mahdolliset kehitysmahdollisuudet ja tutkia, millaisille ohjelmille on jatkossa tarvetta.

Laskentalomakkeen toimivuuden tarkistamiseksi työn loppuun on tehty laskentaesimerkki. Laskuesimerkin lisäksi toimeksiantaja tarkastutti ohjelman ja näin toimivuus saatiin varmistettua.

Avainsanat eurokoodi, pulttiliitos, laskentalomake

TAMK University of Applied Sciences
Construction Engineering, Building construction
Mattila, Olli
Field sheet for bolted connections
31 pages + 1 appendix page
May 2009
Thesis Supervisor Raimo Koreasalo (MSc)
Co-operating Company KPM-Engineering Ltd, supervisor engineer Heikki Löytty

Abstract

This thesis is made for KPM-Engineering Ltd. As a result of this thesis, the Excel program for bolted connections has been made. The program contains some different connection types for timber and gusset plates. The field sheet is purposed to serve the company in the future needs.

The report part of this thesis deals with calculations of bolted connections same way as they are used in Excel. It also deals with matters that were thought when the work was done.

One part of this report was to inquire how large development potential this thesis has and what other kinds of field sheets are needed in the company.

The last part of this report is the calculation example of one kind of bolted connection. It is made for ensure that the program is working correctly.

Keywords eurocode, bolted connection, field sheet

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

Sisällysluettelo

1 Johdanto ... 6
2 Standardit ... 6
3 Laskentalomakkeen kehitys ... 7
3.1 Sisältö ... 7
3.2 Ulkoasu ... 8
3.3 Ongelmat ... 10
3.4 Kehitysmahdollisuudet ... 11
4 Mitoitus ... 13
4.1 Yleistä ... 13
4.2 Vaatimukset ... 13
4.3 Lähtöarvoja ... 14
4.4 Leikkauskestävyys ... 15
4.5 Läpilohkeamismurto ... 18
4.6 Halkeamiskestävyys ... 19
4.7 Teräslevyjen mitoitus ... 20
4.7.1 Teräslevyn vetokestävyys ... 20
4.7.2 Teräslevyn reunapuristuskestävyys ... 21
4.7.3 Teräslevyn palamurtuminen ... 21
5 Laskentaesimerkki ... 23
5.1 Lähtötietoja ... 24
5.2 Vaatimukset ... 24
5.3 Leikkauskestävyys ... 26
5.4 Läpilohkeaminen ... 28
5.5 Halkeamiskestävyys ... 28
5.6 Lopputulos ... 29
6 Yhteenveto ... 30
Lähteet ... 31
Liitteet ... 32
Liite 1: Esimerkkilaskun tuloste ... 32

1 Johdanto

Suomessa luovutaan rakentamismääräyskokoelman mitoitusohjeista vuonna 2010, ja tämän jälkeen kaikki suunnittelu tulee tehdä eurokoodin pohjalta. Kuten muutkin vastaavat yritykset, myös KPM-Engineering Oy, suunnittelee vielä pääasiassa vanhan normin mukaan. Tämän vuoksi KPM-Engineering Oy tarjosi opinnäytetyöksi mitoituslomakkeen kehitystä.

Osastonpäälikön kanssa käydyissä keskusteluissa päädyttiin soveltamaan taulukkolaskentaohjelmaa, joka voidaan nimetä mitoitus-Exceliksi. Työn tarkoitus on kehittää yleisimmille puuosien pulttiliitoksille laskentalomake. Työn ohessa tulisi myös kiinnittää erityisesti huomiota lomakkeen käytettävyyteen, selkeyteen ja myös ulkonäköön. Yhtenä osana työtä olisi kartoittaa yrityksen sisällä, minkälaisia laskentaohjelmia tarvitaan, kun siirrytään eurokoodin mukaiseen suunnitteluun.

Varsinainen opinnäytetyö olisi yrityksen käyttöön tuleva väline, joka helpottaa suunnittelijan työtä hankalien laskujen kanssa ja tarjoaa yritykselle lähtökohdan tulevaisuudessa tarvittaville uusille laskentalomakkeille.

2 Standardit

Vuonna 2007 elokuussa otettiin Suomessa käyttöön eurokoodi-standardi (EN). Tästä alkoi ns. siirtymäaika eurokoodeihin. Siirtymäaikana Suomessa on mahdollista käyttää kolmenlaisia suunnittelumääräyksiä. Ne ovat EN-eurokoodit (kansalliset liitteet, NA), ENV-eurokoodin esistandardi (kansalliset soveltamisasiakirjat, NAD) sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman B-sarja. Jokainen em. suunnittelumääräyksistä on oma kokonaisuutensa, eikä niitä tule käyttää suunnittelussa ristiin toistensa kanssa. Nyt käytössä olevasta B-sarjasta on tarkoitus luopua 1.4.2010. Tämän vuoksi monilla suunnittelutoimistoilla on jo kiire tietojensa päivittämisessä eurokoodien mukaisiksi.

Suomessa on myös paljon käytetty valmistajien ja yhdistysten laatimia suunnitteluohjeita. Tällaisia ovat esimerkiksi Betoniyhdistys BY ja Rakennusinsinöörien liitto RIL. Suuri osa näistäkin ohjeista perustuu vielä vanhoihin kansallisiin normeihin, mutta osa on jo päivitetty eurokoodeihin. Esimerkiksi RIL on julkaissut Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2007), joka perustuu eurokoodi EN 1995-1-1:een. Tässä ohjekirjassa on tiivistetysti ja käyttäjäystävällisesti koottu EN 1995-1-1:n tärkeimmät asiat. Osaa kaavoista on myös muokattu helpommiksi ja laskemaan hieman varmalle puolelle. Kyseistä julkaisua käytin pääasiassa laatiessani pulttiliitoksen mitoitus-Exceliä.

Vaikka erilaiset liitot ovat tehneet erilaisia suunnittelua helpottavia ohjeita, eurokoodeilla laskeminen on silti osoittautunut hieman hankalammaksi kuin vanhojen normien mukaan laskenta. Varsinainen mitoitus ei ole merkittävästi muuttunut ainakaan puurakenteiden mitoituksessa, mutta mukaan on tullut monia uusia kertoimia, joiden tuntemus vaatii kovasti perehtymistä niihin. Joiltain osin mitoitus on muuttunut myös tarkemmaksi, ja tämä tuottaa lisää töitä. Erityisesti kuormien laskenta eurokoodien mukaan on huomattavasti haastavampaa kuin vanhan rakentamismääräyskokoelman mukainen.

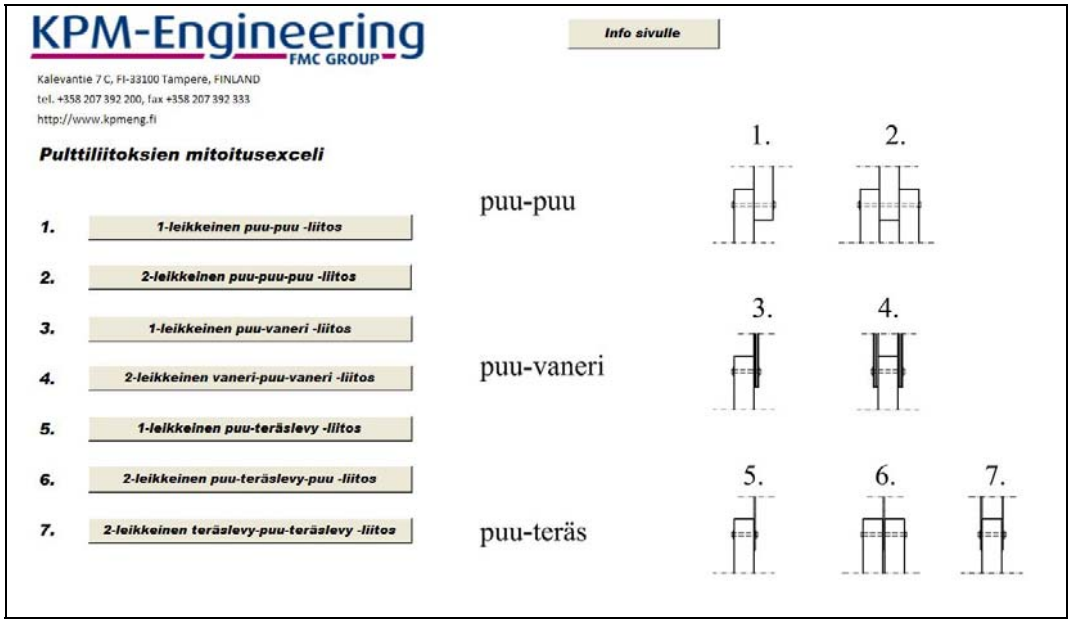
Näiden tosiasioiden perusteella voidaan todeta, että eurokoodeihin siirtyminen vaatii suunnittelijoilta asiaan syvällistä perehtymistä ja paljon lisätöitä. Tämä tulee kuluvan vuoden aikana ja jatkossakin kuormittamaan suunnittelutoimistoja huomattavasti.

3 Laskentalomakkeen kehittäminen

3.1 Sisältö

Laskentalomakkeen kehittäminen alkoi sisällön pohtimisesta. Työ aloitettiin kyselemällä muilta työtovereilta, millaisille liitoksille ohjelma tulisi kehittää. Mielipiteiden lisäksi tämän raportin laatija haarukoi itse työn laajuutta lukiessaan suunnitteluohjetta. Laskennassa päätin soveltaa pääosin RIL:n suunnitteluohjetta. Tämä ohje on kuitenkin yksinkertaistettu varsinaisesta eurokoodista, ja siksi sen ohjeiden mukaan ei voi laskea aivan kaikenlaisia liitoksia.

Näiden pohdintojen jälkeen ja työn ohjaajan kanssa käydyn keskustelun perusteella valittiin liitokset, jotka tulevat mukaan mitoitusexceliin. Kuviossa 1 on otos laskenta-Excelin etusivulta, ja siitä selviää havainnollisesti, mitkä liitokset ovat päässeet mukaan.



Kuvio 1 Laskentalomakkeen etusivu ja liitostyypit

Erilaisista puutyypeistä mukaan otettiin yleisimmät sahatavara- ja liimapuulaadut. Valitettavasti kertopuut oli pakko jättää pois, koska niiden laskennassa käytetään osittain erilaisia kaavoja, ja se olisi vaikeuttanut Excelin tekemistä huomattavasti. Puulevyistä mukaan valittiin vain vaneri, koska sitä käytetään paljon enemmän kuin esim. lastulevyä. Kaikki vanerilaadut, jolle RIL 205-1-2007 esittää lujuusarvoja, ovat mukana vaihtoehtoina.

Oleellinen asia laskentapohjan kehittämisessä on sen käyttäjäystävällisyys. Tähän panostettiin luomalla erilaisia valintanappeja ja -valikoita, joista käyttäjä voisi valita oikean vaihtoehdon omaan työhönsä. Usein kuitenkin tällainen toiminto rajoittaa vaihtoehtoja eikä siksi sovi käytettäväksi.

Pelkät tulokset eivät usein riitä suunnittelijalle, vaan tarvitaan myös tapa, jolla asia voidaan esittää asiakkaalle tai tarkastajalle. Tämän vuoksi jokaisesta laskennasta kopioituvat tiedot tulostuspohjalle, jota suunnittelija voi jakaa eteenpäin. Tulostuspohja tuli yritykseltä. Näin pyritään saamaan koko yrityksen tulosteet yhtenäisiksi ja selkeiksi. Tulostuspohjan ulkoasu on liitteestä 1, jossa on esitetty esimerkkilaskun tulos.

Käyttäjän olisi myös tärkeää tietää mitä normia laskentalomake käyttää. Tätä varten päätettiin tehdä erillinen info-sivu, josta selviävät käytettyjen normien lisäksi Excelin version numero ja mahdollisesti huomatut ja korjatut virheet.

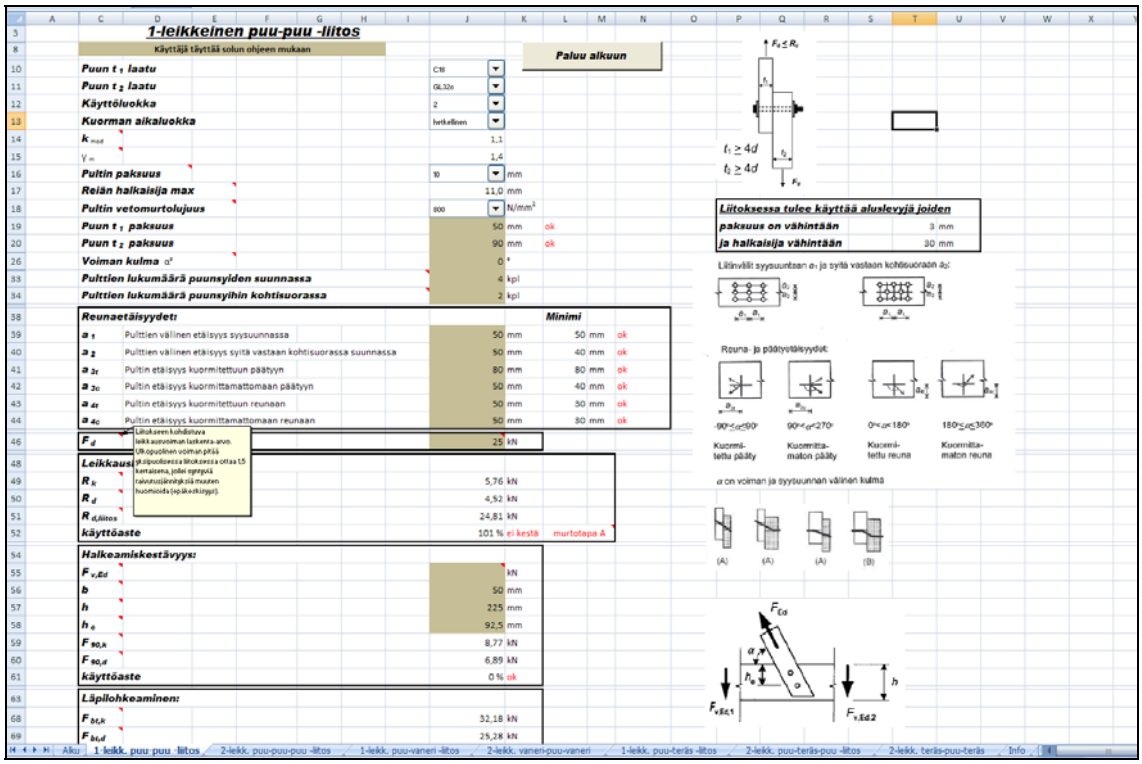
Sisällön tavoitteeksi asetettiin tehdä valituista liitostyypeistä mahdollisimman yleispätevät ja selkeät laskentapohjat. Tämä osoittautui työn edetessä hyvin haastavaksi, jopa mahdottomaksi.

3.2 Ulkoasu

Kehityksen alussa keskeinen asia oli myös laskentalomakkeen ulkoasu, koska sillä voidaan vaikuttaa hyvin paljon käyttäjäystävällisyyteen ja selkeyteen. Selkeä järjestys on tärkeä myös sen takia, että se vähentää käyttäjien virheitä. Tämän vuoksi on tärkeää, että käyttäjien syöttämät kohdat on selkeästi eroteltu muista. Reunusten käyttö helpottaa asioiden toisistaan erottelua, ja sillä voi lisätä selkeyttä. Myös väritehosteilla voi korostaa eri kenttiä. Excelissä voidaan käyttää tekstin värjäystä ja solun taustan värjäystä.

Työssä päädyttiin muotoiluun, jossa vasemmassa reunassa on solun selite tai symboli. Noin näytön keskellä on valintasolu, jossa on joko vetovalikko tai täytettävä solu. Täytettävät solut on värjätty ruskeiksi, ja sivun ylälaidassa on ohje, että käyttäjä täyttää nämä solut. Näytön oikeaan reunaan sijoitettiin kuvia, joiden tarkoitus on selventää

käyttäjälle solujen täyttöä ja koko liitosta yleensä. Kuviossa 2 on esimerkki yhdestä Excelin laskentaosasta.



Kuvio 2 Esimerkki laskentalomakkeesta

Kuvat ovat usein parhaita selvittämään asioita, mutta ne vievät paljon tilaa. Yhtenä tärkeänä asiana pidettiin myös taulukon kokoa. Laskentalomakkeen selkeyden kannalta olisi hyvä, että se mahtuisi näytölle, niin ettei käyttäjän tarvitse liikkua ylös ja alas jatkuvasti. Tältä on usein kuitenkin vaikeaa välttyä. Tärkeämpää on, ettei käyttäjä joudu liikkumaan taulukon sivusuunnassa. Hiiren rullalla ylös ja alas pääsee kuitenkin melko kätevästi.

Laskennassa on myös paljon sellaisia kertoimia ja välituloksia, joiden ei välttämättä tarvitse olla näkyvillä. Piilottamalla nämä rivit laskentalomakkeesta saatiin kutistettua sen pituutta huomattavasti. Jos näitä tietoja joku kuitenkin kaipaa, ne saa näppärästi esiin kahdella hiiren painalluksella.

Vasemmassa reunassa sijaitsevat solun selitteet vaativat monesti myös oman selitteensä. Tuntuu ehkä omituiselta tehdä selitteen selitteitä, mutta joskus niin on pakko toimia. Ainakin symbolit on jossain selitettävä. Niiden selittämiseen käytettiin Excelissä kommentti-toimintoa. Kommentti-teksti menee piiloon, mutta sen saa esiin viemällä

hiiren solun päälle. Tämä on oivallinen tapa piilottaa ohjeita, jotka saattavat joskus olla pitkiäkin.

Varsinaisen laskentaosan alle sijoitettiin erillinen tulostussivu. Tulostussivu ei laske enää mitään uutta, vaan sinne kopioituvat ylhäällä lasketut tulokset. Käyttäjän täytyy ainoastaan täyttää nimiön tiedot. Tulostussivulle tulee punainen huomautusteksti, jos yllä olevissa laskennoissa on kapasiteettien ylityksiä. Samat huomautukset tulevat esiin myös laskentaosassa, ja ne on linkitetty tulosteeseen, ettei virheitä tulisi. Liitteessä 1 on malli yhdestä tulosteesta.

3.3 Ongelmat

Työn kehityksen aikana vastaan tuli lukuisia ongelmakohtia, jotka liittyivät eurokoodeihin ja Excelin käyttöön. Eurokoodeihin liittyvissä ongelmissa työtoverit auttoivat hyvin paljon. Muutamassa tapauksessa oltiin yhteydessä myös VTT:n erikoistutkija Ari Kevarinmäkeen, jolta saatiin vastaukset myös vaikeisiin kysymyksiin. Työpaikan oma atk-osasto auttoi ansiokkaasti Exceliin liittyvissä ongelmissa.

Suurin ongelma oli kuitenkin tavoiteltu yleispätevyys. Vaikka liitostyypit olikin valittu tarkoin ja niitä karsittiin työn helpottamiseksi, olisi niitä pitänyt silti lisätä. Ongelma liittyy lähinnä siihen, että eurokoodilla laskettaessa liitokset lasketaan hyvin tarkasti. Tästä johtuen jokainen erilainen liitos lasketaan eri tavalla. Siksi ainoa varma tapa siihen, että käyttäjä ja laskentalomake toimivat oikein, olisi se, että jokainen erilainen liitos olisi oma lomakkeensa. Jos niin olisi, myös käyttö olisi huomattavasti helpompaa.

Yksi ongelma tuli vastaan näyttöjen resoluutiossa. Kuten aikaisemmin ulkoasua käsittelevissä kappaleessa kirjoitettiin, olisi hyvä että koko laskenta mahtuisi käyttäjän näytölle kerralla. Laskentalomake on tehty tavanomaiselle työkoneelle, jonka näytölle se sopii oikein hyvin, mutta se ei mahdu esimerkiksi kannettavan tietokoneen näytölle samanlaisena. Yksi vaihtoehto olisi ollut se, että taulukko olisi puristettu niin pieneksi, että se sopisi pieneenkin näyttöön hyvin. Työpaikan keskustelujen pohjalta päädyttiin isompaan kokoon, sillä suurin osa yrituksen näytöistä on samaa kokoa.

3.4 Kehitysmahdollisuudet

Aikataulu ja työn mukana selvinneet ongelmakohdat aiheuttivat sen, että joitain kohtia jouduttiin jättämään sivuun laskentalomakkeesta. Sivuun ne jätettiin ainakin opinnäytetyön osalta, mutta ajatuksena oli, että työtä kehitetään jatkossa pidemmälle. Esimerkiksi kertopuun piti olla alun perin vaihtoehtona sahatavaran ja liimapuun kanssa jokaisessa liitostyypissä. Kertopuuta käytettäessä laskelma tulee kuitenkin osittain eri kaavoilla, ja tämä olisi vaikeuttanut lomakkeen luontia. Jatkossa on tarkoitus kehittää laskentalomaketta siten, että kertopuullakin voidaan pulttiliitokset laskea yhtä kätevästi.

Toinen jatkossa toteutettava kehitys olisi laskentalomakkeen muunto tappivaarnaliitoksia varten. RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen mukaan tappivaarnaliitoksia laskettaessa sovelletaan pultteja koskevia sääntöjä pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta. Näissä liitoksissa saadaan yhden leikkeen leikkauskestävyys kertomalla vastaavan pulttiliitoksen leikkauskestävyys kertoimella 0,8. Muutkin muutokset laskentaan ovat hyvin pieniä, ja näin ollen laskentalomakkeen muutos olisi hyvin helppo ja se tullaan varmasti myös tekemään.

Kuten aikaisemmin ongelmakohdissa todettiin, tämä työ kärsi ongelmista, jotka johtuivat yksittäisen taulukon liiallisesta tarjonnasta. Varsin oleellinen jatkokehitys olisikin eritellä selkeästi vedetyt ja puristetut liitokset sekä liitokset, joissa liitoskappaleet eivät ole samansuuntaisia. Tällä parannuksella laskentalomakkeesta tulisi käyttäjille helpommin ymmärrettävä ja virheiltä olisi helpompi välttyä.

Lähitulevaisuudessa yrityksessä tullaan varmasti tuottamaan muitakin samantapaisia Excel-taulukoita. Nämä ovat asiasisällöltään hyvin erilaisia, eikä tämän työn pohjaa voida kaikissa suoraan käyttää. Työ on kuitenkin poikinut hyviä suuntaviivoja siihen, kuinka asioita tullaan jatkossa taulukoissa esittämään. Esimerkiksi info- ja tulostussivu ovat varmasti mukana jatkossa kehitettävissä laskentalomakkeissa.

Puurakenneosastolla on jo jonkin aikaa kehitetty eurokoodilaskentaa helpottavia laskentaohjelmia. Jo valmiita työkaluja on esimerkiksi pientalon jäykistyslaskentaan ja tukipaineen laskentaan. Samaan aikaan tämän työn kanssa valmistui myös palkkien reikien ja ikkunapalkkien laskenta-Excelit. Kestävyyksiin on siis jo paljon perehdytty eikä ainakaan vielä ole ilmennyt tarvetta uusille. Toinen oleellinen asia rakenteiden

mitoituksessa on tietysti kuormat. Koska nämäkään asiat eivät ole eurokoodeissa kovin helppoja, onkin yrityksessä suunniteltu kuormien laskentalomakkeita. Suunnitelmat ovat lähinnä ideatasolla, eikä niiden toteutusta ole vielä aloitettu. Kaikki yrityksen suunnittelijat ovat kuitenkin yhtä mieltä siitä asiasta, että kuormien laskentaohjelmia tarvitaan. Niiden kohteina tulisi olla lähinnä tuuli- ja lumikuormat.

4 Mitoitus

4.1 Yleistä

Pulttiliitos voidaan mitoittaa puikkoliitosteorian mukaisesti. Sitä varten tarvitaan tiedot materiaalien reunapuristuslujuuksista, liittimen myötömomentista sekä liitoksen geometriasta.

Puikkoliitosteorian kehitti tanskalainen K. W. Johanssen vuoden 1940 tienoilla. Tarkastelumalli on varsin teoreettinen, mutta perustuu kuitenkin tehtyihin kokeisiin. Myöhemmin eri tekijät ovat soveltaneet sitä eri materiaaleille ja sitä on sovellettu myös naula- ja ruuviliitoksiin. (Kangas 1982.)

Seuraavissa kappaleissa esitetään Pulttiliitoksen mitoitus, kuten se on tehty laskenta-excelissä. Kaavat perustuvat RIL 205-1-2007 julkaisuun lukuun ottamatta tehollisten pulttien määrää (EN-1995-1-1) sekä teräslevyn mitoitusta (EN 1993-1-1 & EN 1993-1-8). RIL 205-1-2007:n kaavat taas perustuvat EN 1995-1-1:n kaavoihin, mutta niitä on osittain yksinkertaistettu ja ne johtavat varmalla puolella oleviin tuloksiin.

4.2 Vaatimukset

RIL 205-1-2007: kohta 8.5 Pulttiliitokset -ohje koskee liitoksia, joissa pultin halkaisija on alle 24 mm. Pultin vetomurtolujuus ei saa olla yli 800 N/mm^2 (lujuusluokka 8.8). Puutavaran paksuus liitoksen reunaosissa on oltava vähintään 4 – ja sisäosissa 5 kertaa pultinhalkaisija.

Pultattujen puulevyjen ja puunliitoksissa reunaliitososana käytettävän puulevyn paksuus on oltava

$$t_{levy} \geq \frac{80 * d}{f_{h,levy,k}} mm \qquad (1)$$

kaavassa d on pultin halkaisija

$f_{h,levy,k}$ on puulevyn reunapuristuslujuus

Teräslevyn ja puun välisissä pulttiliitoksissa pultin halkaisijan maksimi on 30 mm, eikä puun paksuudelle ole rajoitteita.

Jos liitos on epäsymmetrinen tai siihen kohdistuva voima on epäkeskeinen, täytyy siihen syntyvä momentti huomioida lisärasituksena. RIL 205-1-2007 antaa ohjeeksi käyttää laskennassa 1,5-kertaista rasitusta, jollei syntyvää taivutusjännitystä muuten huomioida.

4.3 Lähtöarvoja

Varsinaisessa laskennassa aloitetaan laskemalla eri liitososille kestävyyksiä. Pulteille lasketaan myötömomentti seuraavalla kaavalla:

$$M_y = 0{,}3 * f_{u,k} * d^{2,6} \tag{2}$$

Kaavassa $f_{u,k}$ on pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

Seuraavana asiana on liitoksen eri puuosien reunapuristuskestävyyksien laskenta. Kestävyyteen vaikuttaa oleellisesti voimansuunnan ja syysuunnan välinen kulma. Paras reunapuristuskestävyys puulla on syysuunnassa ja huonoin syysuuntaan nähden kohtisuorassa.

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \tag{3}$$

$$f_{h,0,k} = 0{,}082 * (1 - 0{,}01 * d) * \rho_k \tag{4}$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1{,}35 + 0{,}015 * d & havupuulle \\ 1{,}30 + 0{,}015 * d & yhteen\ suuntaan\ viilutetulle\ LVL:lle \\ 0{,}90 + 0{,}015 * d & lehtipuulle \end{cases} \tag{5}$$

Kaavoissa α on kulma syysuuntaan nähden

ρ_k on puun ominaistiheys

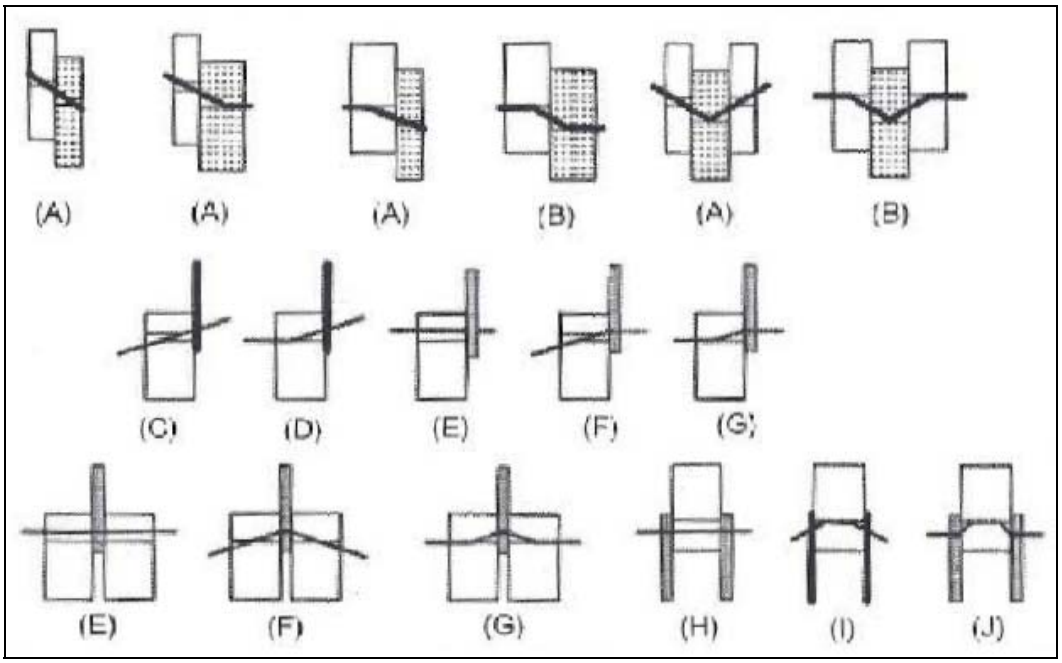
Jos liitoksessa käytetään vaneria puutavaran lisäksi, vanerilevylle lasketaan oma reunapuristuskestävyys. Seuraavassa kaavassa ei huomioida syysuuntaa:

$$f_{h,k} = 0{,}11 * (1 - 0{,}01 * d) * \rho_k \qquad (6)$$

kaavassa ρ_k on vanerin ominaistiheys

4.4 Leikkauskestävyys

Riippuen siitä, mitä eri liitososia liitoksessa on puun lisäksi, käytetään erilaisia kaavoja leikkauskestävyyden laskennassa. Seuraavaksi on esitetty RIL 205-1-2007:n mukaisia kaavoja, joita on myös käytetty mitoitus-Excelissä. Kirjaimet kaavojen perässä tarkoittavat eri murtotapoja. Kaavoja vastaavat murtotavat on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3 Liitosten murtotavat (RIL 205-1-2007)

Kun liitoksessa on pelkkiä puuosia tai puuosia ja puulevyjä, leikkauskestävyyden ominaisarvo voidaan laskea yhtä leikettä kohti seuraavasti:

$$R_k = \min \begin{cases} 0{,}4 * f_h * t_u * d * \sqrt{1 + \dfrac{3 * M_y}{f_h * d * t_u^{\,2}}} & \text{(A)} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} & \text{(B)} \end{cases} \tag{7}$$

$$t_u = \min \begin{cases} \dfrac{t_1 * f_{h,1,k}}{f_h} \\ \dfrac{t_2 * f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases} \tag{8}$$

$$f_h = \min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k}) \tag{9}$$

missä t_1 ja t_2 ovat liitoksen reunaosien puiden paksuudet

$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$ ovat liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja

$f_{h,s,k}$ on kaksileikkeisen liitoksen keskiosan reunapuristuslujuuden ominaisarvo

Laskettaessa leikkauskestävyyttä teräslevyn ja puun välisessä liitoksessa otetaan huomioon teräslevyn paksuuden ja pultin halkaisijan suhde. Kun yksileikkeisen liitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus on $t_t \leq d$, leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohti voidaan laskea kaavalla:

$$R_k = \min \begin{cases} 0{,}4 * f_h * t * d & \text{(C)} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} & \text{(D)} \end{cases} \tag{10}$$

kaavassa t on puun paksuus

Kun vastaavassa liitoksessa teräslevyn paksuus on suurempi tai yhtä suuri kuin pultin halkaisija, tulee laskea seuraavasti:

$$R_k = \begin{cases} f_h * t * d & \text{(E)} \\ 1{,}3 * f_h * t * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_y}{f_h * d * t^2}} - 1 \right] & \text{(F)} \\ 3 * \sqrt{\mathrm{M_y} * f_h * d} & \text{(G)} \end{cases} \tag{11}$$

Teräslevyn paksuuden ollessa välillä $0{,}5*d<t_t<d$ tulee kaavojen välissä käyttää lineaarista interpolointia.

Liitoksissa, joissa liitoksen keskiosa on teräslevyllinen ja reunaosat ovat puuta, lasketaan leikkauskestävyyden ominaisarvo kaavan 11 mukaan käyttäen puun paksuutena t ohuemman puun paksuutta.

Kun kaksileikkeisessä liitoksessa uloimmat osat ovat teräslevyä, tulee leikkauskestävyyden ominaisarvo laskea kaavalla:

$$R_k = \min \begin{cases} 0{,}5 * f_h * t * d & \text{(H)} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} \ \text{ kun } t_t \leq 0{,}5 * d & \text{(I)} \\ 3 * \sqrt{M_y * f_h * d} \ \text{ kun } t_t \geq d & \text{(J)} \end{cases} \tag{12}$$

jos teräslevyn paksuus menee rajojen väliin, suoritetaan lineaarinen interpolointi keskimmäisen ja alimman kaavan välillä (murtotavat I ja J).

Kun edellisten kaavojen avulla on ratkaistu leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohden, voidaan laskea yhden leikkeen mitoituskestävyys kaavalla:

$$R_d = \frac{k_{\mathrm{mod}} * R_k}{\gamma_m} \tag{13}$$

missä k_{mod} on kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin

γ_m on materiaalin osavarmuusluku

Mikäli liitoksessa on käytetty kahta tai useampaa puumateriaalia, käytetään sen materiaalin kertoimia jolla k_{mod}/γ_m suhde on pienempi.

Koko liitoksen mitoituskestävyyteen vaikuttaa vielä leikkeiden määrä ja tehollisten pulttien määrä. Tehollisten pulttien määrä lasketaan puun syiden suuntaiselle liitinriville. RIL 205-1-2007 sisältää kaavan, jolla tehollisesti toimivien pulttien

lukumäärä voidaan laskea vedetyissä sauvanpääliitoksissa. Koska laskenta-Excelin on tarkoitus laskea myös muunlaisia liitoksia, päädyttiin käyttämään EN 1995-1-1 mukaista kaavaa.

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\dfrac{a_1}{13 * d}} \end{cases} \tag{14}$$

kaavassa a_1 on syysuuntainen pulttiväli

n on samassa rivissä olevien pulttien määrä

Voiman ollessa syysuuntaa vastaan kohtisuorassa pulttien tehollisena määränä käyttää arvoa

$$n_{ef} = n \tag{15}$$

Eurokoodin mukainen kaava mahdollistaa myös kulman vaihtelun. Kun liitokseen kohdistuvan voiman ja puun syysuunnan välinen kulma α on välillä $0° < \alpha < 90°$, tehollisten pulttien määrä voidaan interpoloida lineaarisesti kaavojen 14 ja 15 välillä.

Koko liitoksen leikkauskestävyys saadaan siis kertomalla yhden leikkeen mitoituskestävyys leikkeiden määrällä, jossa on huomioitu tehollisten pulttien määrä.

4.5 Läpilohkeamismurto

Läpilohkeamismurrolla tarkoitetaan sitä, että puusta murtuu ns. keskiosa liitinryhmän piiriä pitkin. Lohkeamismurto voi tapahtua myös palalohkeamisena, mutta sitä ei oteta huomioon pulttiliitoksia laskettaessa, vaan se koskee pelkästään pintaliittimiä ja vaarnoja. Läpilohkeamista ei tarvitse kuitenkaan pulttiliitoksissa tarkistaa, jos kaikki liittimet ovat yhdessä syysuuntaisessa rivissä eikä jos syysuuntaisten liittimien määrä on enintään neljä ja pulttien välinen etäisyys syitä vastaan kohtisuorassa $a_2 \geq 5d$. Läpilohkeamistarkastelu tulee suorittaa myös liitoksen puulevyosille.

Liitospuun läpilohkeamiskestävyyden ominaisarvon kaava:

$$F_{bt,k} = L_{net,t} * t_1 * k_{bt} * f_{t,0,k} \tag{16}$$

missä $f_{t,0,k}$ on puun vetolujuuden ominaisarvo

t_1 Pultin sileän karaosuuden tunkema puussa

$$k_{bt} = \begin{cases} 1{,}5 & \text{Sahatavara ja liimapuu} \\ 1{,}25 & \text{LVL} \end{cases}$$

$$L_{net,t} = (n_2 - 1) * (a_2 - D) \tag{17}$$

n_2 on liitinrivien lukumäärä puunsyitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

a_2 on pulttien välinen etäisyys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

(Vrt. laskentaesimerkin kuva 6)

D on pultille poratun reiän halkaisija

Omanaisarvosta saadaan mitoitusarvo kertomalla k_{mod}:lla ja jakamalla γ_m:llä.

4.6 Halkeamiskestävyys

Jos voima vaikuttaa liitokseen vinossa kulmassa puunsyihin nähden, syysuuntaan nähden poikittaiset vetojännitykset tulee ottaa huomioon tarkastamalla puuosan halkeamiskestävyys. Halkeamiskestävyyttä varten täytyy tarkasteltavasta puusta olla leikkausvoimakuvio, josta tarkastetaan leikkausvoiman arvo molemmin puolin liitosvoimaa. Näistä arvoista itseisarvoltaan suurempi on mitoittava eli seuraavan kaavan $F_{v,ed}$.

$$F_{v,ed} \leq F_{90,d} \tag{18}$$

missä $F_{90,d}$ on havupuun halkeamiskestävyyden mitoitusarvo

Halkeamiskestävyyden ominaisarvo lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F_{90,k} = 14 * b * \sqrt{\frac{h_e}{(1 - \frac{h_e}{h})}} \tag{19}$$

Omanaisarvosta saadaan mitoitusarvo kertomalla k_{mod}:lla ja jakamalla γ_m:llä.

4.7 Teräslevyjen mitoitus

Kun liitoksessa käytettään teräslevyjä, tulee niiden kestävyys tarkistaa aina EN 1993:n mukaan. Teräslevystä mitoitus-Excelissä tarkistetaan sen vetokestävyys, reunapuristuskestävyys ja palamurtuminen. Näiden lisäksi suunnittelijan tulee tarkistaa puristetussa liitoksessa levyn nurjahdus. Nurjahduspituudeksi voidaan yleensä olettaa 0,8 kertaa liitossauman eri puolilla olevien pulttien etäisyys.

4.7.1 Teräslevyn vetokestävyys

Vetokestävyyden laskenta on pulttiliitos-Excelissä laskettu EN 1993-1-1:n mukaan seuraavilla kaavoilla:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{20}$$

kaavassa N_{Ed} on vetovoiman mitoitusarvo

$$N_{t,Rd} = \min \begin{cases} N_{pl,Rd} \\ N_{u,Rd} \end{cases} \tag{21}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \tag{22}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} \tag{23}$$

kaavoissa A on bruttopoikkileikkauksen pinta-ala

A_{net} on nettopoikkileikkauksen pinta-ala

f_y on teräksen myötöraja

f_u on teräksen vetomurtolujuus

γ_{M0} on osavarmuusluku

γ_{M2} on osavarmuusluku

Kaava 22 laskee bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen mitoitusarvon ja kaava 23 nettopoikkileikkauksen kestävyyden mitoitusarvon liittimen reikien kohdalta.

4.7.2 Teräslevyn reunapuristuskestävyys

Reunapuristuskestävyys lasketaan jokaiselle pultille erikseen seuraavalla EN 1993-1-8:n mukaisella kaavalla:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \tag{24}$$

Kaavaan on eritelty a_b ja k_1 arvot sen mukaan missä ne sijaitsevat liitoksessa. Näihin arvoihin vaikuttavat reunaetäisyydet. Exceliin on kuitenkin tämä asia yksinkertaistettu siten, että on laskettu vain pahin tapaus ja se kerrottu leikkeiden määrällä, koska tämä ei tule oikein mitenkään määrääväksi tekijäksi.

4.7.3 Teräslevyn palamurtuminen

Kuten edellinen kohta myös palamurtuminen on harvoin määräävä murto ns. normaalissa tapauksessa, mutta Excel laskee tämän siitä huolimatta. Palamurtumisessa tarkistetaan erilaiset palalohkeamiset siten, että voiman suuntaa vasten kohtisuora poikkileikkauspinta-ala mitoitetaan vedolle ja voiman suuntainen poikkileikkauspinta-ala leikkaukselle. Palamurtumisen kaava löytyy EN 1993-1-8 kirjasta.

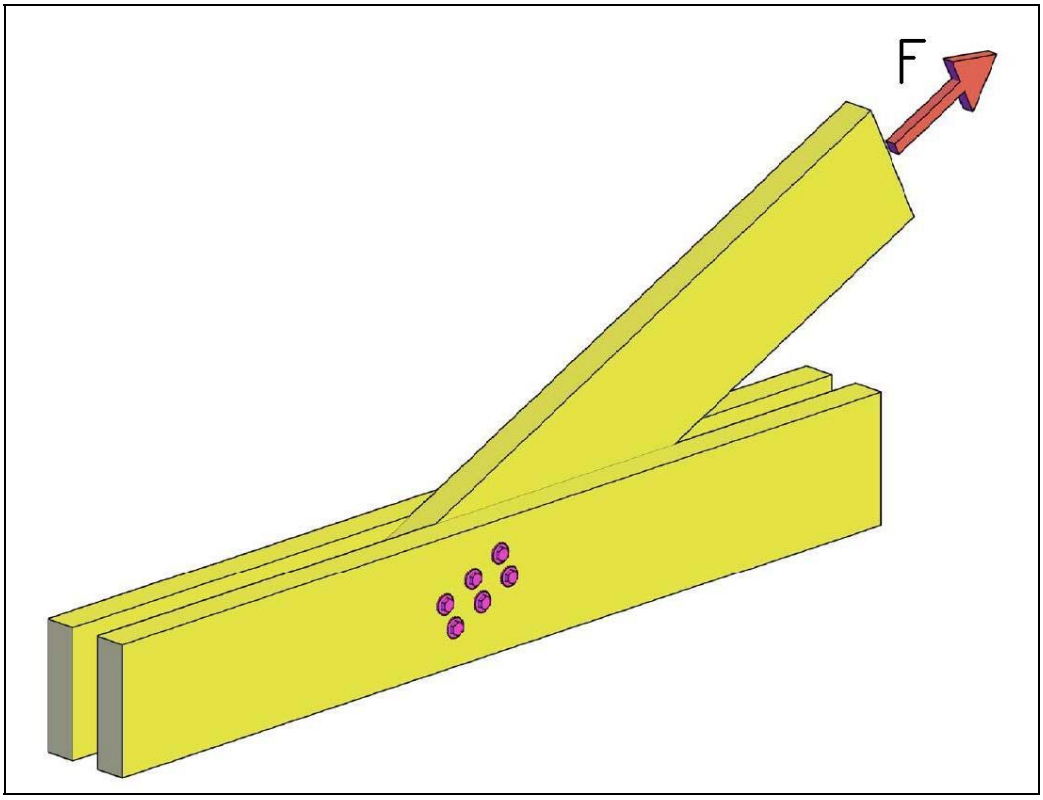
$$V_{eff,1,Rd} = \frac{F_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{(1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv}}{\gamma_{M0}} \tag{25}$$

missä A_{nt} on vedon rasittama nettopinta-ala

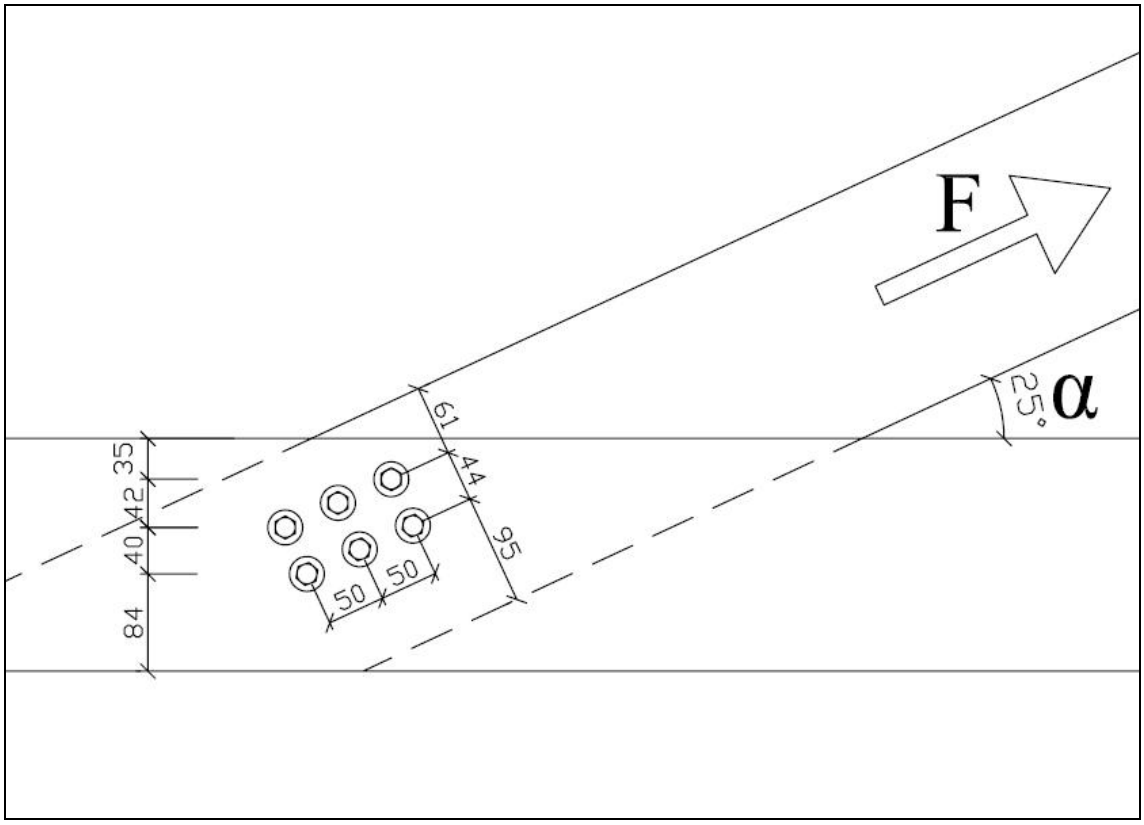
A_{nv} on leikkauksen rasittama nettopinta-ala

5 Laskentaesimerkki

Seuraavassa yksinkertaisessa laskuesimerkissä näytetään kuinka kolmen puun välinen pulttiliitos voidaan mitoittaa eurokoodin mukaisesti. Käsin laskenta toimii myös yhtenä tarkistuskeinona Excelin toimivuuden ja luotettavuuden varmistamisessa. Kuviossa 4 on esitetty 3d-kuva liitoksesta, jonka kapasiteetti selvitetään. Seuraavana alapuolella on kuvio 5, josta voidaan todeta pulttien reunaetäisyydet ja muutenkin liitoksen mittasuhteet.



Kuvio 4 Liitoksen 3-d malli



Kuvio 5 Liitoksen oleelliset mitat

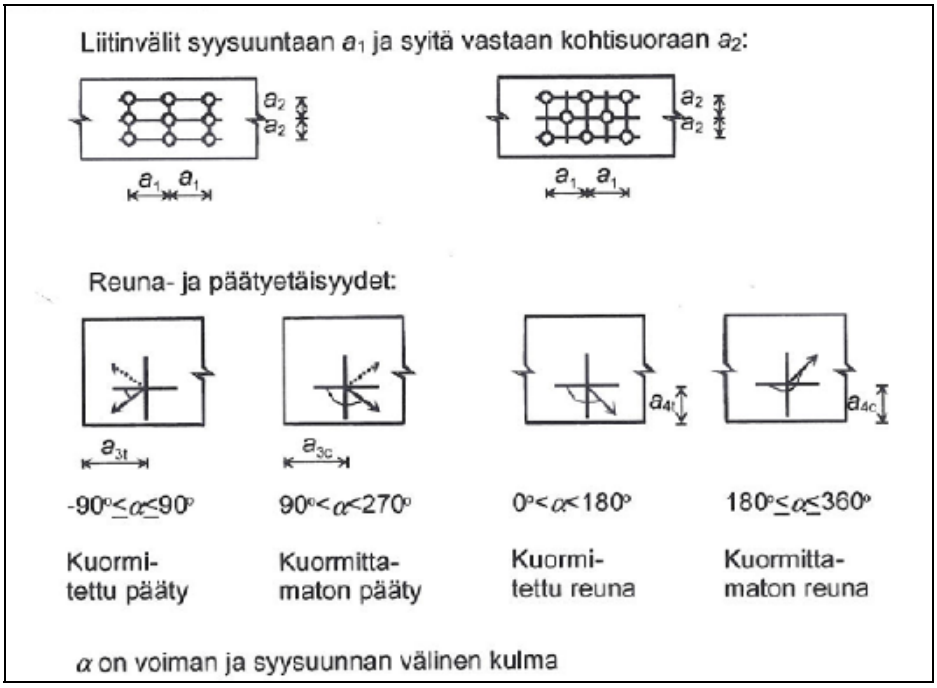
5.1 Lähtötietoja

Liitoksessa on kolme liitettävää puuta, jotka ovat toistensa kanssa samankokoisia ja laatuisia. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja puun dimensiot ovat 50 mm*200 mm. Puutavaran ominaistiheys on 350 kg/m^3 ja vetolujuuden ominaisarvo on 14 N/mm^2. Laskennassa valitaan ”käyttöluokka 2” ja ”kuormien aikaluokka keskipitkä”, jotka vastaavat tilannetta tyypillisellä ristikolla. Pulttien halkaisija on 10 mm ja lujuusluokka 8.8. Pulteille on porattu halkaisijaltaan 11 mm leveät reiät.

5.2 Vaatimukset

RIL 205-1-2007:n mukaisessa mitoituksessa on liitospuiden paksuuksille esitetty minimit. Liitoksen reunaosassa puun paksuus on oltava vähintään 4*d ja keskiosassa 5*d. Koska puiden paksuus 50 mm ja pultin halkaisija 10 mm, todetaan että puiden paksuus on riittävä.

Heti mitoituksen alussa on syytä myös tarkistaa pulttien minimivälit ja reunaetäisyyksien miniarvot, jotta ne eivät ylity. Seuraavassa kuviossa on määritelty tarkistettavat etäisyydet.



Kuvio 6 Pulttivälien ja reunaetäisyyksien määritelmät (RIL 205-1-2007)

$$a_1 \geq (4 + |\cos\alpha|) * d$$
$$a_1 \geq (4 + |\cos 25|) * 10$$
$$50 \geq 49 \rightarrow ok$$

$$a_2 \geq 4 * d$$
$$a_2 \geq 4 * 10$$
$$44 \geq 40 \rightarrow ok$$

$$a_{3t} \geq \max\begin{cases} 7 * d \\ 80 \end{cases}$$
$$a_{3t} \geq \max\begin{cases} 7 * 10 \\ 80 \end{cases}$$
$$84 \geq 80 \rightarrow ok$$

$$a_{4t} \geq \max\begin{cases}(2+2*|\sin\alpha|)*d \\ 3*d\end{cases}$$

$$a_{4t} \geq \max\begin{cases}(2+2*|\sin 25|)*d \\ 3*d\end{cases}$$

$$35 \geq 30 \rightarrow ok$$

Kaikki minimivälit sekä -reunaetäisyydet täyttyvät, joten voidaan siirtyä eteenpäin laskussa.

5.3 Leikkauskestävyys

Pultin myötömomentti:

$$M_y = 0{,}3*f_{u,k}*d^{2,6}$$
$$M_y = 0{,}3*800*10^{2,6}$$
$$M_y = 95545{,}72 Nmm$$

Puun reunapuristuskestävyys:

$$k_{90} = \begin{cases}1{,}35+0{,}015*d & havupuulle \\ 1{,}30+0{,}015*d & yhteen\ suuntaan\ viilutetulle\ LVL:lle \\ 0{,}90+0{,}015*d & lehtipuulle\end{cases}$$
$$k_{90} = 1{,}35+0{,}015*10$$
$$k_{90} = 1{,}5$$

$$f_{h,0,k} = 0{,}082*(1-0{,}01*d)*\rho_k$$
$$f_{h,0,k} = 0{,}082*(1-0{,}01*10)*350$$
$$f_{h,0,k} = 25{,}83\, N/mm^2$$

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}*\sin^2\alpha+\cos^2\alpha}$$
$$f_{h,k} = \frac{25{,}83}{1{,}5*\sin^2 25+\cos^2 25}$$
$$f_{h,k} = 23{,}71\, N/mm^2$$

Koska kaikki kolme puuosaa ovat saman paksuisia, f_h:n arvo on sama kuin yllä laskettu $f_{h,k}$ ja t_u:n arvoksi tulee 50mm.

$$R_k = \min\begin{cases} 0{,}4 * f_h * t_u * d * \sqrt{1 + \dfrac{3 * M_y}{f_h * d * t_u{}^2}} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{cases}$$

$$R_k = \min\begin{cases} 0{,}4 * 23{,}71 * 50 * 10 * \sqrt{1 + \dfrac{3 * 95545{,}72}{23{,}71 * 10 * 50^2}} \\ 2 * \sqrt{95545{,}72 * 23{,}71 * 10} \end{cases},$$

$$R_k = \min\begin{cases} 5775{,}7N \\ 9519{,}2N \end{cases}$$

$$R_k = 5{,}78kN$$

$$R_d = \frac{k_{\mathrm{mod}} * R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0{,}8 * 5{,}78}{1{,}4}$$

$$R_d = 3{,}30kN$$

Lasketaan syysuunnan tehollisten pulttien määrä:

$$n_{ef} = \min\begin{cases} n \\ n^{0{,}9} \sqrt[4]{\dfrac{a_1}{13 * d}} \end{cases}$$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} 3 \\ 3^{0{,}9} \sqrt[4]{\dfrac{60}{13 * 10}} \end{cases}$$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} 3 \\ 2{,}22 \end{cases}$$

$$n_{ef} = 2{,}22$$

Liitoksen leikkauskestävyys saadaan nyt kertomalla yhden leikkeen laskentakestävyystehollisten pulttien määrällä (syysuunta), syysuuntaan nähden kohtisuorasti olevien pulttien määrällä (2) ja leikkeiden määrällä (2).

$$R_{d,liitos} = 3{,}30 * 2{,}22 * 2 * 2 = 29{,}3kN$$

5.4 Läpilohkeaminen

$$L_{net,t} = (n_2 - 1) * (a_2 - D)$$
$$L_{net,t} = (2 - 1) * (44 - 11)$$
$$L_{net,t} = 33mm$$

$$k_{bt} = \begin{cases} 1{,}5 & \text{Sahatavara ja liimapuu} \\ 1{,}25 & \text{LVL} \end{cases}$$
$$k_{bt} = 1{,}5$$

$$F_{bt,k} = L_{net,t} * t_1 * k_{bt} * f_{t,0,k}$$
$$F_{bt,k} = 33 * 50 * 1{,}5 * 14 / 1000$$
$$F_{bt,k} = 34{,}65kN$$

$$F_{bt,d} = \frac{k_{\text{mod}} * F_{bt,k}}{\gamma_m}$$
$$F_{bt,d} = \frac{0{,}8 * 34{,}65}{1{,}4}$$
$$F_{bt,d} = 19{,}8kN$$

5.5 Halkeamiskestävyys

$$F_{90,k} = 14 * b * \sqrt{\frac{h_e}{(1 - \frac{h_e}{h})}}$$
$$F_{90,k} = 14 * 100 * \sqrt{\frac{141}{(1 - \frac{141}{200})}}$$
$$F_{90,k} = 30{,}61$$

$$F_{90,d} = \frac{k_{\text{mod}} * F_{90,k}}{\gamma_m}$$
$$F_{90,d} = \frac{0{,}8 * 30{,}61}{1{,}4}$$
$$F_{90,d} = 17{,}49kN$$

Yllä laskettua halkeamiskestävyyttä ei voi verrata muihin kestävyyksiin, koska sitä ei verrata suoraan vetävään voimaan *F*.

Halkeamiskestävyyttä varten täytyy vaakasuorista puista olla leikkausvoimakuviot, joista tarkastetaan leikkausvoiman arvo molemmin puolin liitosvoimaa. Näistä arvoista itseisarvoltaan suurin on mitoittava.

5.6 Lopputulos

Laskelmien perusteella esimerkki liitoksen kapasiteetti vetävälle voimalle *F* on noin 19kN. Määrääväksi tekijäksi tuli läpilohkeamismurto. Tämän lisäksi tulisi vielä halkeamiskestävyyden tarkastelu tehdä loppuun. Se vaatisi kuitenkin koko rakenneosan tuntemusta, että voitaisiin määrittää tarvittava leikkausvoimakuvio. Työn lopussa liitteessä 1 on tuloste samasta liitoksesta joka on laskettu käyttämällä laskenta-Exceliä.

6 Yhteenveto

Tätä työtä oli hyvin mielenkiintoista tehdä. Motivaatiota työn tekoon lisäsi ehdottomasti ajatus, että siitä on hyötyä yritykselle. Työ oli myös hyvin opettavainen sekä normien että ohjelman käytön kannalta. Vaikka eurokoodia ei jouduttu työn ohessa selaamaankaan kuin hyvin pieneltä alueelta, kului asian ymmärtämiseen paljon aikaa.

Raportin laatija on hyvin tyytyväinen työ lopputulokseen, vaikka siihen jäikin paljon parannettavaa. Kun parannusmahdollisuudet on huomattu, voidaan muutoksia tekemällä päästä taas hieman parempaan lopputulokseen.

Yritykseltä tuli laskentalomakkeen tarkistuksen yhteydessä paljon palautetta ja sitä pidettiin hyvin tärkeänä osana koko työtä. Kritiikin kautta pystyy näkemään parhaiten omat virheensä ja niistä tulee oppia. Palaute oli kuitenkin pääasiassa positiivista ja tämän opinnäytetyön laatija uskoo, että myös yritys on hyvin tyytyväinen työn lopputulokseen.

Lähteet

1. Eurokoodi help desk. [www-sivu]. Saatavissa: http://www.eurocodes.fi

2. Kangas, Jorma 1982. Puurakenteet 3 Liitokset. Rakentajain kustannus Oy.

3. RIL 205-1-2007 2007. Puurakenteiden suunnitteluohje.

4. EN 1995-1-1 2004. Suomen standardisoimisliitto SFS.

5. EN 1993-1-1 2005. Suomen standardisoimisliitto SFS.

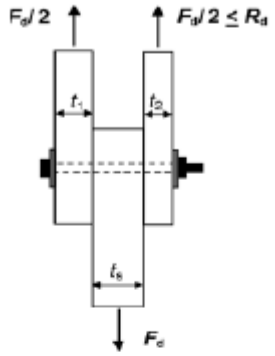
6. EN 1993-1-8 2005. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Liitteet

Liite 1: Esimerkkilaskun tuloste

KPM-Engineering FMC GROUP	Työn nro	opinnäyte	Rakennelaskelmat	
	Tekijä	OMA	Pos.	
	Päiväys	22.4.09	Sivu	1
Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, FINLAND tel. +358 207 392 200, fax +358 207 392 333 http://www.kpmeng.fi	Sisältö 2-leikkeinen puu-puu-puu -liitos			

Laskennan perustana on RIL 205-1-2007 (eurokoodi EN 1995-1-1)



Puun t_1 laatu	C24	
Puun t_2 laatu	C24	
Puun t_2 laatu	C24	
Puun t_1 paksuus	50	mm
Puun t_1 paksuus	50	mm
Puun t_2 paksuus	50	mm
k_{mod}	0,8	
γ_m	1,4	

Pultin lujuusluokka	8.8	
Pultin paksuus	10	mm
Pulttien lukumäärä puunsyiden suunnassa	3	kpl
Pulttien lukumäärä puunsyihin kohtisuorassa suunnassa	2	kpl
Pulttien lukumäärä yhteensä	6	kpl
Pultille porattavan reiän maksimi halkaisija	11	mm
Liitokseen kohdistuva leikkausvoiman laskenta-arvo (F_d)	19	kN
Voimansuunnan ja puunsyiden välinen teräväkulma α°	25	°

Leikkauskestävyys: (kaava 8.28.1S RIL)		
R_k	5,78	kN
R_d	3,30	kN
$R_{d,liitos}$	27,95	kN
käyttöaste	68	%

halkeamiskestävyys: (kaavat 8.2 & 8.4 RIL)		
$F_{v,Ed}$		kN
$F_{90,k}$	30,61	kN
$F_{90,d}$	17,49	kN
käyttöaste		

Läpilohkeaminen: (kaava 8.4.1S RIL)		
$F_{bt,k}$	34,65	kN
$F_{bt,d}$	19,80	kN
käyttöaste	96	%

Reunaetäisyydet		
Pulttien välinen etäisyys syysuunnassa	50	mm
Pulttien välinen etäisyys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa	44	mm
Pultin etäisyys kuormitettuun päätyyn	84	mm
Pultin etäisyys kuormittamattomaan päätyyn	1000	mm
Pultin etäisyys kuormitettuun reunaan	35	mm
Pultin etäisyys kuormittamattomaan reunaan	84	mm

Liitoksessa tulee käyttää aluslevyjä joiden		
paksuus on vähintään	3	mm
ja halkaisija vähintään	30	mm